

MONITOREO DE SISTEMAS URBANOS A TRAVÉS DE ÍNDICES E INDICADORES ORIENTADOS A LA PLANIFICACIÓN

Dante Andrés Barbero¹, Irene Martini¹ y Carlos Alberto Discoli³

Instituto de Investigaciones y Políticas del Ambiente Construido (IIPAC).
Facultad de Arquitectura y Urbanismo. Universidad Nacional de La Plata.
Calle 47 N° 162. CC 478. CP 1900. La Plata, Argentina.
Tel./fax 54-221-4236587 interno 207.

E-mail: dantebarbero@yahoo.com.ar, irene_martini@yahoo.com.ar, discoli@rocketmail.com

Recibido: 02-02-15; Aceptado: 04-06-15.

RESUMEN.- El diagnóstico de los sistemas urbanos, requiere una metodología e instrumentación que permita visualizar la situación de cada componente y que interprete las escalas urbanas y sus complejidades. La integración de métodos de gestión territorial soportados en SIG que permitan monitorear múltiples variables a través de un software (framework), facilitan la tarea de diagnóstico y planificación. Estos poseen un alto grado de generalidad y reusabilidad, permitiendo resolver clases de problemas en lugar de un problema específico. Se presenta el diseño y la implementación de un sistema de soporte (por medio de un framework) orientado a la toma de decisiones –basado en índices e indicadores cuantitativos– en el ámbito urbano y regional. Su versatilidad permite representar múltiples índices e indicadores presentes en diferentes modelos de sustentabilidad urbana y de calidad de vida urbana. En ellos resulta necesario controlar los valores de las variables ante situaciones de actualización para garantizar su consistencia. La integración del framework con un SIG permite, visualizar los resultados en el territorio en un instante dado u observar dichos valores en función del tiempo. Se muestra la implementación de la metodología con el uso del framework, los resultados obtenidos y se mencionan posibles medidas a ser adoptadas.

Palabras Claves: Modelo genérico – modelo sistémico - sistema de soporte para la toma de decisiones - planificación urbana y regional.

URBAN SYSTEMS MONITORING THROUGH INDEXES AND INDICATORS GUIDED TO URBAN AND REGIONAL PLANNING

ABSTRACT.- The diagnosis of urban systems requires a methodology and instrumentation that helps to illustrate the status of each component and to interpret the urban scales and its complexities. The integration of land management methods supported in GIS allows monitoring multiple variables through a software (framework), making it easy to diagnose and plan. They possess a high degree of generality and reusability, solving kinds of problems rather than a specific problem. The design and implementation of a support system (through a framework) is presented, guided to a decision making -based in quantitative, indexes and indicators in the urban and regional level. Its versatility allows to represent multiple indexes and indicators in different sustainability and quality of urban life models, where the control of the variables' values are necessary in order to update situations to ensure its consistency. Integration with a GIS framework enables display the results in a given territory or observe these values in an instant time. Implementation of the methodology obtained with the use of the framework is shown, the obtained results and possible measures to be taken are mentioned.

Keywords: Generic model – systemic model – decision support systems – urban and regional planning.

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo se enmarca dentro de los siguientes proyectos: PICT 2012-2172 “Construcción de escenarios urbanos a partir de un diagnóstico energético-ambiental” financiado por la Agencia Nacional de Promoción Científica y Tecnológica (ANPCyT) y “Desarrollo de tecnologías y pautas de reciclado masivo de la envolvente edilicia residencial orientado al uso racional y eficiente de la energía en áreas urbanas.” CONICET PIP 0097.

El primer proyecto tiene por objetivo analizar el uso de la energía de los sectores residencial y transporte a los efectos de establecer posibles escenarios futuros con el objeto de diseñar y evaluar distintas estrategias tendientes a reducir los consumos energéticos residenciales y de transporte, y mejorar las condiciones de habitabilidad, en el marco de diferentes escenarios de crecimiento urbano y analizar la viabilidad de medidas que pudieran ser adoptadas. Se espera que los resultados de este proyecto sirvan para concientizar a la gestión pública acerca de adoptar herramientas de soporte para la toma de decisiones para mejorar la planificación urbana y regional como así también la gestión de los municipios. El segundo proyecto apunta a establecer

1. Investigador Adjunto CONICET

2. Investigador Independiente CONICET

lineamientos e innovaciones proyectuales y tecnológicas (se pretende optimizar las técnicas actuales, desde el punto de vista energético, mediante la utilización más eficiente de los materiales de uso tradicional) sistemáticas tendientes al reciclado masivo de la envolvente edilicia existente, recurriendo para tales fines a criterios del “diseño pasivo”, nos referimos al diseño arquitectónico que tienda a dar respuestas de acondicionamiento ambiental mediante el aprovechamiento de recursos climáticos naturales, conservación y uso eficiente de la energía y fuentes energéticas no convencionales. En este sentido se ha avanzado en el desarrollo de una metodología para la sistematización de alternativas tecnológico-constructivas de reciclado edilicio de aplicación masiva orientadas a la optimización energética de la envolvente en el parque residencial construido. Esto nos permitirá plantear y replicar las alternativas tecnológicas de reciclado masivo. La implementación generalizada de las mismas y su integración en el tejido urbano, nos permitirá evaluar, a partir del escenario base, las potenciales mejoras, y dimensionar la reducción de la demanda energética sectorial.

En este contexto, y como aporte a ambos proyectos, es que surgió la necesidad de poder contar con una herramienta que permita calcular el valor de índices e indicadores urbanos cuantitativos, observar su espacialización en el territorio, y efectuar el monitoreo de las variables y dimensiones analizadas. Para ello es necesario mantener la consistencia de los valores de índices e indicadores ya que cada vez que cambia el valor de alguno de los datos que se usan para su cálculo (por ejemplo: la modificación de un campo dentro de un registro en una base de datos) se debe recalculan el valor del mismo y de aquellas variables y dimensiones relacionadas afectadas por dicho cambio.

La actualización de los valores de índices e indicadores interrelacionados es un problema muy común en aplicaciones vinculadas a la planificación urbana y catastro (por ej.: en la actualización del tendido de redes, en la actualización dominial, entre otras). Por ello, resulta útil poder contar con métodos y herramientas de software que permita integrar, visualizar y resolver este tipo de problemas.

2. METODOLOGÍA

La integración de SIG y frameworks en sistemas complejos de monitoreo urbano es fundamental para facilitar el manejo de información, así como para obtener información calificada que pueda ser considerada como elemento de fundamentación y decisión en la planificación urbana. La principal ventaja de los frameworks es su alto grado de reusabilidad y generalidad, y es por ello que sirven para resolver una familia de problemas de una determinada clase en vez de resolver un problema específico. Este trabajo presenta el diseño, la implementación y uso de un framework que permite representar modelos sistémicos basados en índices e indicadores cuantitativos. Para la implementación metodológica del framework, se utilizaron patrones de diseño (Gamma et al., 1995) en el marco de la programación orientada a objetos. Estos permiten “representar soluciones generales de problemas que se encuentran comúnmente en el desarrollo de software” (Stelting y Maasen, 2003). En la figura 1 se puede observar la estructura del framework, las clases que lo componen, las interrelaciones entre clases (uniones mediante líneas negras)

y los patrones de diseño presentes (recuadros de color celeste).

Se puede apreciar, a partir de la Figura 1, que tanto índices como indicadores tienen atributos en común tales como: nombre, valor, valor mínimo, valor máximo, umbral (threshold) y unidad, entre otros, que están definidos en la clase “Descriptor”. Las clases “Index” e “Indicator” poseen algunos atributos en común (los que pertenecen a la clase “Descriptor”) y otros que son específicos de cada una. En cuanto a la modelización de índices e indicadores, es sabido que la fórmula de los índices es una expresión matemática compuesta por indicadores (e incluso puede incluir índices también) de modo que resultó adecuado el uso del patrón “Composite” (Gamma et al., 1995 op. cit), ya que el mismo define una estructura común para manejar de manera uniforme las operaciones en una jerarquía. El patrón “Strategy” se usó en el framework para poder especificar el método de normalización que corresponda (existen 2 fórmulas posibles: la que asigna mayores valores cuando mejor es la situación o la que asigna mayor valor cuando peor es la situación) ya que existe más de una alternativa posible.

El software cuenta con un mecanismo para el manejo de las dependencias entre variables (índices o indicadores) y su actualización. Este mecanismo actúa cada vez que ocurre un cambio en un índice o indicador, verificando qué índices están relacionados de manera directa o indirecta (exceptuando el que sufrió el cambio) con el que sufrió el cambio y realizando las actualizaciones correspondientes. El software desarrollado fue acoplado al SIG ArcGIS 9 (es un producto © de la empresa ESRI) para visualizar geográficamente, mediante mapas, los cambios que produce la modificación del valor de una variable sobre el resto de las mismas.

A continuación se presenta, como caso de estudio, el cálculo de los indicadores representados en el framework para la evaluación de la cobertura del servicio de gas por red en los municipios de la provincia de Buenos Aires.

3. CASO DE ESTUDIO: COBERTURA DEL SERVICIO DE GAS POR RED EN LOS MUNICIPIOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Para definir el nivel de carencia del servicio de gas por red (NCSGM_j) en cada localidad de la provincia se procedió a normalizar los valores en base a la siguiente fórmula:

$$NCSGM_j = \frac{x - MIN}{MAX - MIN} \quad (1)$$

Donde:

MAX = Número de hogares total del municipio.

MIN = Número mínimo de hogares (0).

x = Número de hogares que carecen del servicio en el municipio *j*.

j ∈ {Adolfo Alsina, ... , Zárate} (Todos los municipios de la provincia de Buenos Aires).

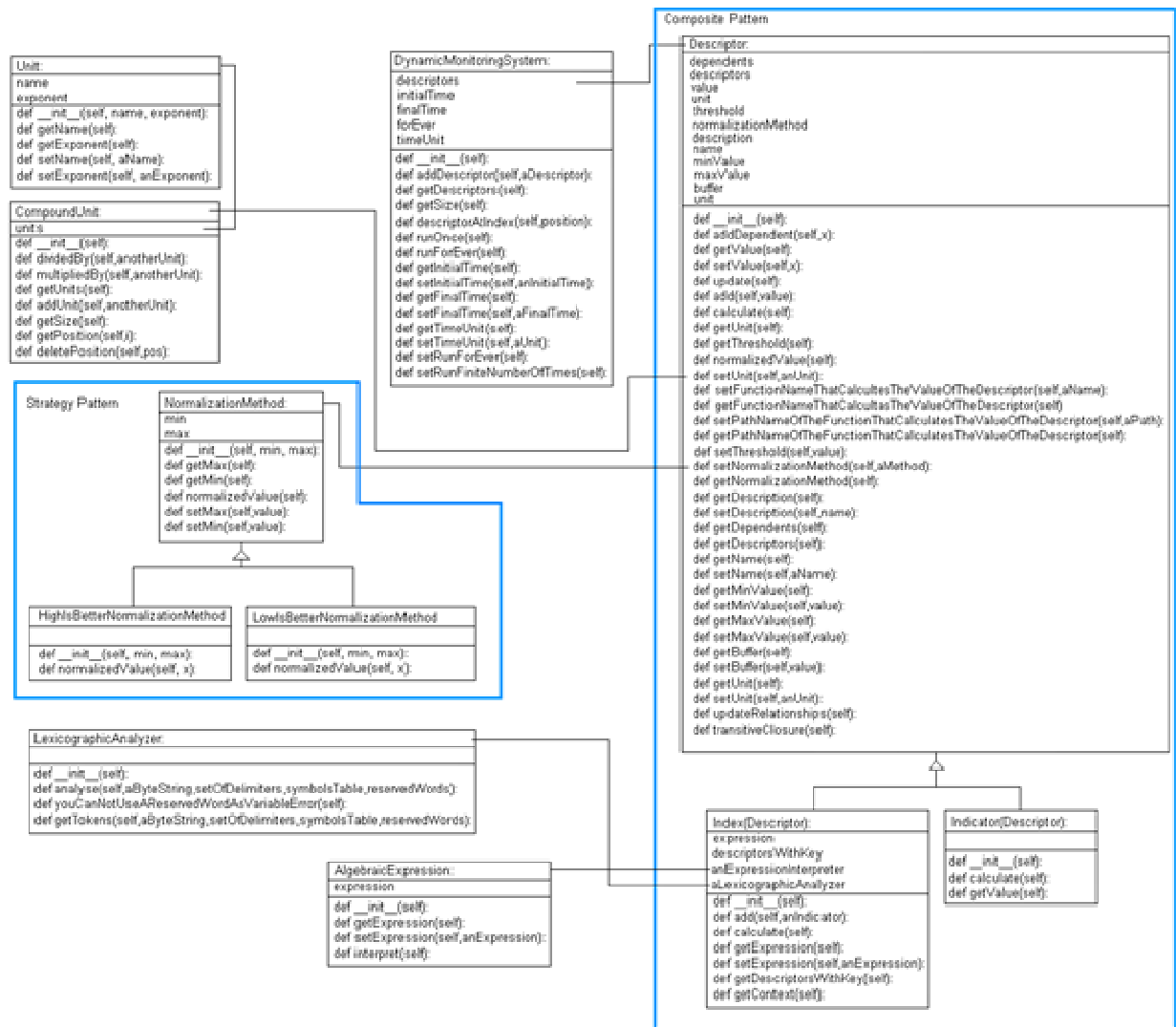


Fig. 1. Estructura del framework para el desarrollo de modelos sistémicos basados en índices e indicadores cuantitativos (Barbero 2008).

Dicha fórmula da como resultado un número en el intervalo [0,1], que se lo multiplica por 100 para convertirlo en porcentaje. Por lo tanto, la fórmula que se aplica para calcular el valor del indicador “Porcentaje de hogares sin el servicio de gas para cada municipio” ($PHSGM_j$) es la siguiente:

$$PHSGM_j = \frac{HSGM_j}{HSGM_j + HGM_j} * 100 \quad (2)$$

Donde:

$HSGM_j$ = Hogares sin el servicio de gas en el municipio j .

HGM_j = Hogares con el servicio de gas en el municipio j .

$j \in \{\text{Adolfo Alsina, ... , Zárate}\}$ (Todos los municipios de la provincia de Buenos Aires).

Cabe destacar que no es lo mismo que una ciudad pequeña tenga el 10% de sus hogares sin un servicio determinado, que si lo propio acontece con una ciudad con un gran

número de hogares. Por lo tanto, a los porcentajes anteriores hay que multiplicarlos por el número de hogares de cada municipio respecto del total de hogares de la provincia. De esta manera, suponiendo que 2 municipios cuyos nombres sean Municipio 1 y Municipio 2, tienen igual valor en el porcentaje de hogares carentes del servicio (supongamos por ej.: 20%), y suponiendo además que el municipio 1 tiene 2.000 hogares, que el municipio 2 tiene 80.000 hogares y que el total de la provincia es de 100.000 hogares; el índice daría como resultado los siguientes valores para cada municipio.

Municipio 1 = $(2.000 / 100.000) (20) = 0,4$.

Municipio 2 = $(80.000 / 100.000) (20) = 16$.

Por lo tanto, aún en el caso de que haya 2 municipios con igual valor de déficit de hogares; el municipio con mayor número de hogares carentes del servicio de gas por red obtendrá un valor mayor. Cuanto más grande sea este valor mayor será el impacto (en términos de cantidad de hogares afectados) por la carencia del servicio. De allí la importancia de este índice para la toma de decisiones en el ámbito provincial. Por lo antes expuesto, la fórmula del índice

“Porcentaje ponderado de hogares sin el servicio de gas en el municipio” ($PPHSGM_j$) es entonces la siguiente:

$$PPHSGM_j = \frac{HSGM_j}{THM_j} * 100 * \frac{THM_j}{THP} \quad (3)$$

Donde:

$HSGM_j$ = Hogares sin el servicio de gas en el municipio j .

THP = Total de hogares de la provincia de Buenos Aires.

THM_j = Total de hogares del municipio j . (Es igual a $HSGM_j + HGM_j$).

THP = Total de hogares de la provincia de Buenos Aires.

$j \in \{\text{Adolfo Alsina, ... , Zárate}\}$ (Todos los municipios de la provincia de Buenos Aires).

o lo que es lo mismo:

$$PPHSGM_j = \frac{HSGM_j}{THP} * 100 \quad (4)$$

De la misma manera, a nivel provincial, el porcentaje de hogares que carecen del servicio se calcula como la suma de los hogares de cada municipio que carecen del servicio respecto del total de hogares de la provincia multiplicado por 100. Por lo tanto, la fórmula del indicador “Porcentaje de hogares sin el servicio de gas por red en la provincia” ($PHSGP$) es la siguiente:

$$PHSGP = \frac{\sum_j HSGM_j}{THP} * 100 \quad (5)$$

Donde:

$j \in \{\text{Adolfo Alsina, ... , Zárate}\}$ (Todos los municipios de la provincia de Buenos Aires).

$HSGM_j$ = Hogares sin el servicio de gas en el municipio j .

THP = Total de hogares de la provincia de Buenos Aires.

Habiendo detallado las fórmulas para analizar el grado de cobertura del servicio de gas por red en los municipios de la provincia de Buenos Aires, se presenta a continuación la aplicación del framework para dicho análisis.

4. APLICACIÓN DEL FRAMEWORK PARA CALCULAR EL GRADO DE COBERTURA DE LA RED DE GAS EN LOS MUNICIPIOS DE LA PROVINCIA DE BUENOS AIRES

Para poder obtener resultados a partir del uso del framework, se requiere que se declararen en primer lugar todos los indicadores que formen parte del modelo a representar y luego todos los índices (en este caso no hay ninguno). Por cada indicador se debe especificar un nombre, un valor por defecto, la ubicación del script que calcula el

valor del indicador, el valor máximo y mínimo admisible (threshold o umbral) y el resto de los atributos definidos en la clase Indicator (que se suman a los de la clase Descriptor). En este caso, para representar el estado del servicio de gas por red en los municipios de la provincia de Buenos Aires fue necesario declarar los indicadores “Porcentaje de hogares sin cobertura de gas por red” y “Porcentaje de hogares sin servicio de gas por red ponderado por el número de hogares del municipio respecto del total de hogares de la provincia”. Dichos indicadores se declararon, usando la interface gráfica del framework, con los siguientes nombres: CobGNr y CobGNrPonderado respectivamente.

A modo de ejemplo, se muestra el código fuente generado automáticamente por el framework para el cálculo del indicador del porcentaje de hogares sin cobertura de gas por red:

```
CobGNr=Indicator()
CobGNr.setName("CobGNr")
CobGNr.setValue(0)
CobGNr.setNormalizationMethod(LowIsBetterNormalizationMethod(0,100))
CobGNr.setMinValue(0)
CobGNr.setMaxValue(100)
CobGNr.setThreshold(70)
CobGNr.setUnit("%")
CobGNr.setDescription("Porcentaje de hogares sin cobertura de gas por red")
CobGNr.setPathNameOfTheFunctionThatCalculatesTheValueOfTheDescriptor("C:/Python25/proyecto/CobGNr.py")
CobGNr.setFunctionNameThatCalculatesTheValueOfTheDescriptor("cobGNr")
self.dms.addDescriptor(CobGNr)
```

En el caso de que hubiese más indicadores, éstos se declararían de manera similar y, a medida que se fuesen agregando, el código correspondiente se iría añadiendo al final. Una vez definidos todos los indicadores e índices se debe especificar si deseamos que el framework calcule el valor de los mismos una vez o si se desea que trabaje en modo de monitoreo. El framework requiere que cada vez que se calcula el valor de un indicador, dicho valor sea devuelto por medio de una función (script escrito en lenguaje Python). Otras salidas, como la generación de mapas (si las hubiere), son opcionales.

5. RESULTADOS OBTENIDOS

El uso del framework para analizar la carencia del servicio de gas por red en los municipios de la provincia de Buenos Aires dio como resultado los mapas de las figuras 2 a 5 y los datos a nivel provincial que se observan en la tabla 1.

Las figuras 2 y 3 muestran los municipios más afectados por la falta de gas por red considerando el número de hogares respecto del total de hogares de la provincia. Tales municipios son aquellos que tienen colores más oscuros. Por ser municipios con gran número de habitantes, su situación requiere especial atención pues la problemática está afectando a un importante porcentaje de la población de la provincia. Las figuras 4 y 5 muestran los resultados obtenidos al calcular el indicador ponderado del servicio de gas por red (utilizando la fórmula 3) en los años 2001 y 2010 respectivamente.

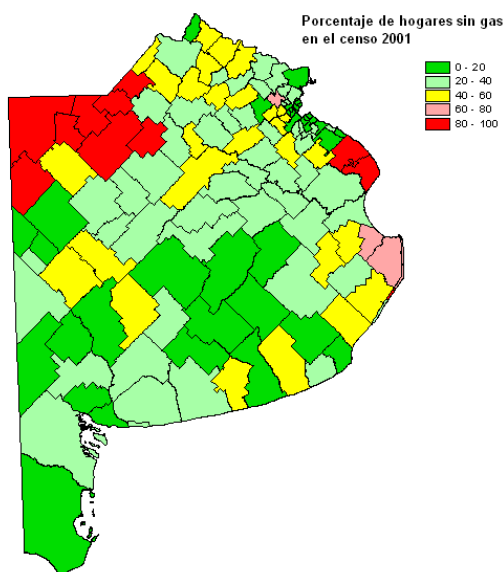


Fig. 2: Mapa del porcentaje de hogares sin cobertura del servicio de gas por red en el año 2001. Fuente: elaboración propia a partir de datos del INDEC.

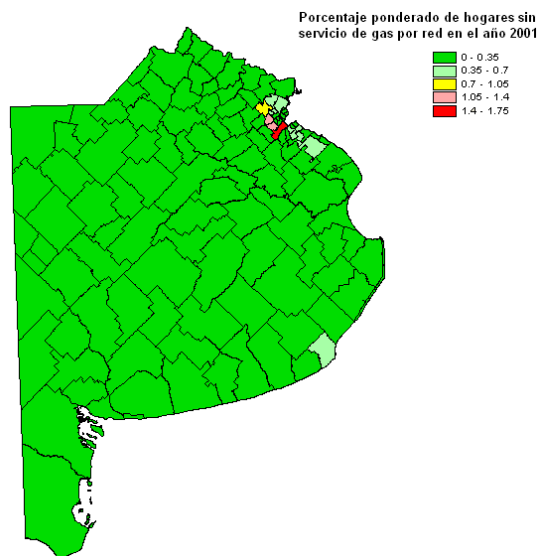


Fig. 4: Mapa del porcentaje de hogares sin servicio de gas por red ponderado por el número de hogares del municipio respecto del total de hogares de la provincia en el 2001. Fuente: elaboración propia a partir de datos del INDEC.

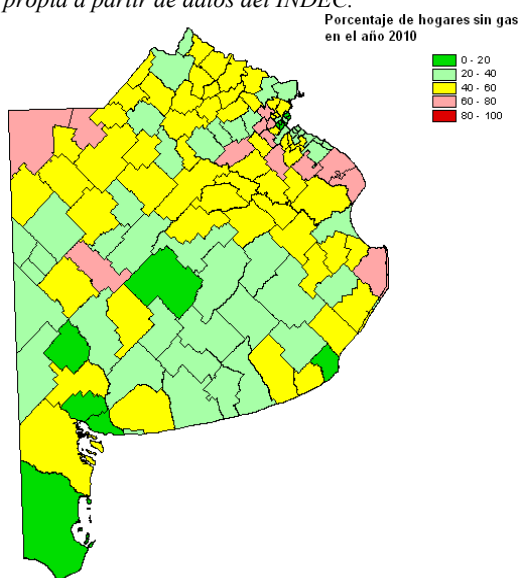


Fig. 3: Mapa del porcentaje de hogares sin cobertura del servicio de gas por red en el año 2010. Fuente: elaboración propia a partir de datos del INDEC.

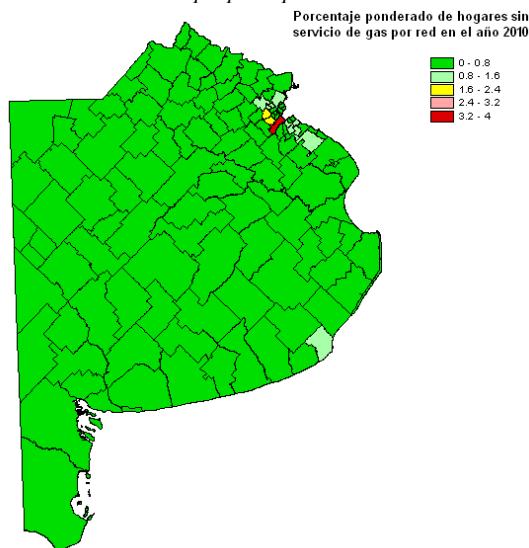


Fig. 5: Mapa del porcentaje de hogares sin servicio de gas por red ponderado por el número de hogares del municipio respecto del total de hogares de la provincia en el año 2010. Fuente: elaboración propia a partir de datos del INDEC.

El porcentaje, a nivel provincial, de hogares sin gas por red fue de 21,6% en 2001 y de 35,06% en 2010 (tabla 1).

Tabla 1. Cobertura del servicio de gas por red, en la provincia de Buenos Aires, en los años 2001 y 2010.

	2001		2010	
	Cantidad	Porcentaje	Cantidad	Porcentaje
Hogares sin gas	846.079	21,596	1.682.770	35,062
Hogares con gas	3.071.660	78,404	3.116.691	64,938
Total de hogares	3.917.739	100	4.799.461	100

6. CONCLUSIONES

El framework ha sido aplicado para el análisis de la cobertura del servicio de gas por red y puede ser aplicado también en cualquier otro dominio donde la representación de modelos basados en índices e indicadores cuantitativos sea una alternativa válida. Posee, además, las siguientes características:

- El desarrollo de una interfaz gráfica para el framework contribuye a que pueda ser usado como una aplicación autónoma evitando tener que ingresar instrucciones por teclado. La interfaz facilita la declaración de los índices e indicadores que componen el modelo a representar.

- Genera código de manera automática a medida que se van especificando los índices e indicadores del modelo a representar.
- Permite guardar el código fuente de un modelo en forma de script para su uso posterior, evitando la tarea de declarar el modelo cada vez que sea utilizado.
- La integración del framework a un SIG permite visualizar geográficamente los cambios que produce la modificación del valor de una variable (índice o indicador) sobre el resto de las variables de un modelo.

Así, el framework desarrollado puede ser usado en la planificación urbana y regional y servir de ayuda como herramienta de soporte para la toma de decisiones a nivel municipal y/o provincial.

En cuanto a los resultados obtenidos, para el caso de estudio analizado, se puede observar que el crecimiento en el número de hogares (el censo 2010 presenta un 22,51% más de hogares que el censo 2001) se incrementó a un ritmo mucho mayor que la ampliación de la red del servicio (que sumó un 1,47% de nuevos hogares que cuentan con el servicio de un censo a otro). Por otra parte, con respecto a la carencia en el servicio de gas por red, la situación empeoró siendo del 21,6% en el 2001 y del 35,06% de hogares en el año 2010. Esto indica que el ritmo al que crece la construcción de nuevos hogares está superando el ritmo de ampliación de la red del servicio.

De un censo a otro, el número de hogares que pasaron a contar con el servicio se incrementó en un 1,47%, cifra que se encuentra por debajo del número de nuevos hogares (22,51%).

Si observamos el porcentaje ponderado, la carencia más importante de falta de gas por red se da en municipios del gran Buenos Aires que cuentan con un gran número de habitantes.

En cuanto a la utilización del framework para estimar el nivel de carencia del servicio de gas por red en los municipios de la provincia de Buenos Aires, se puede inferir que:

- Los resultados obtenidos acerca del grado de carencia en la cobertura del servicio de gas por red en cada municipio permiten alertar de manera temprana a los actores del Estado para iniciar acciones en función del nivel de criticidad observado y de los recursos disponibles. Por lo tanto, el valor de este indicador en un momento dado puede resultar de gran utilidad y servir de apoyo para la toma de decisiones en el ámbito municipal.
- Los resultados obtenidos con el índice ponderado reflejan la situación de cada municipio con respecto al total de la provincia sirviendo, así, como soporte para la toma de decisiones a nivel provincial.

REFERENCIAS

- Barbero, D. (2008) *Tesis doctoral: Modelo sistémico para el manejo con SIG de indicadores de calidad de vida*. Facultad de Informática, UNLP.
- Barbero, D. A. Arteaga, A. San Juan, G. A. (2012) Software para el desarrollo de sistemas de soporte para la toma de decisiones en el ámbito urbano. En *7^{mo} Congreso de Medio Ambiente. Asociación de Universidades Grupo Montevideo*. La Plata.
- Gamma, E. Helm, R. Johnson, R. Vlissides, J. (1995) *Design patterns: Elements of reusable object-oriented software*. Addison-Wesley.
- INDEC. "INDEC Censo 2001". (2001) URL: <http://www.indec.mecon.gov.ar/Webcenso/index.asp> Accedido: 29-5-2014. 2014a.
- INDEC. Censo 2010 Argentina. (2010) URL: <http://www.censo2010.indec.gov.ar/> Accedido: 29-5-2014. 2014b.
- Stelting, S. Maassen, O. (2003) *Patrones de diseño aplicados a Java*. Pearson-Prentice Hall.